

## MONTAJ HATTI Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım

**F. Yeşim KALENDER\***, **Murat Mustafa YILMAZ** ve **Orhan TÜRKBEY\***

\*Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06570 Maltepe, Ankara  
[fyestim@gazi.edu.tr](mailto:fyestim@gazi.edu.tr), [turkbey@gazi.edu.tr](mailto:turkbey@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 05.03.2007; Kabul/Accepted: 05.12.2007)

### ÖZET

Bu çalışmada, bulanık operasyon zamanlı geleneksel montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için bir algoritma geliştirilmiştir. Montaj hattı dengeleme problemindeki değişkenlik ve belirsizlik geleneksel olarak istatistiksel dağılımlar kullanılarak modellenir. Fakat bu durum, geçmiş verilerin olmadığı hallerde uygun olmayabilir. Bu nedenle, önerilen algoritma yeni bir montaj hattını dengelemek için bir uzman tarafından belirlenen bulanık operasyon sürelerini kullanmaktadır. Geliştirilen çözüm algoritması Java programlama dili ile kodlanmış ve bir fabrikada test edilerek yeni hattın dengelenmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Montaj hattı dengeleme, bulanık küme.

### A FUZZY APPROACH TO ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM

#### ABSTRACT

In this study, an algorithm is developed to solve traditional assembly line balancing problem with fuzzy operation times. Variability and uncertainty in the assembly line balancing problem is traditionally modelled through the use of statistical distributions. This may not be feasible in cases where no historical data exists. For this reason, the proposed algorithm uses fuzzy operation times determined by an expert to balance the new assembly line. The developed solution algorithm is coded by Java programming language and is tested in a factory to balance a new assembly line.

**Keywords:** Assembly line balancing, fuzzy set.

#### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Montaj hattı; malzemelerin bir hat boyunca işgücü yardımıyla ya da otomatik olarak transfer edilmeleri ve parça üzerindeki işlemlerin de bir hat boyunca sıralı iş istasyonlarında yapılması olarak tanımlanabilir. Montaj hatlarının tasarımıdaki ana amaçlardan biri, her iş istasyonuna eşit miktarda iş dağıtımını yapabilmektir. Montaj hattı yerleşimlerinde genelde düz, yani Geleneksel Montaj Hattı (GMH) yerleşimi kullanılır.

Geleneksel montaj hattı dengeleme problemi (GMHDP), görevlerin sıralı bir şekilde farklı iş istasyonlarına atanarak ürünlerin oluşturulduğu üretim prosesini dikkate almaktadır. Görevlerin istasyonlar arasındaki dağılımı, görevler arasındaki mevcut öncelik kısıtlarının yanısıra her bir görevi tamamlamak için gerekli zaman birimine de bağlıdır. Ürünün

her bir istasyonda en fazla çevrim zamanı (C) denilen zaman kadar kalmasına izin verilmektedir. Geleneksel hat dengeleme probleminde modellenen üretim hattı “düz” olarak organize edilmiştir. Öncelik diyagramındaki ilk görev(ler)den başlamak ve diyagram boyunca görevleri istasyonlarda gruplamak suretiyle denge oluşturulmaktadır.

Geleneksel montaj hatları dengeleme problemlerinin iki tipi mevcuttur;

*GMHDP-1:* Bu problem tipinde amaç çevrim zamanı verildiğinde, istasyon sayısını minimize etmektir. Genellikle yeni bir hat tasarlamak amacıyla kullanılır.

*GMHDP-2:* Bu problem tipinin amacı ise istasyon sayısı verildiğinde çevrim zamanını minimize etmektir. Bu problem tipi, genellikle ürün talep değişiklikleri ve üretim proseslerinde değişiklik söz konusu olduğunda geçerlidir.

Montaj hatlarında önemli kriterlerden birisi, her bir operasyonun tamamlanma süresidir. Değişen çevre koşulları altında emek yoğun çalışılan işlerde operasyon tamamlanma süresini tespit etmek oldukça zor olabilmektedir. Psikolojik olgular, çevresel faktörler ve diğer insana bağlı etkenler operasyon sürelerinin değişkenlik göstermesine sebep olmaktadır. Bu nedenle montaj hattı problemlerinde deterministik olarak tek bir süre almak, etkinliği yüksek hat yerleşimini gözden kaçırabilmek anlamına da gelebilir. Bu tip belirsizliğin olduğu MHDP'de operasyon sürelerinin stokastik veya bulanık alınması avantaj sağlar. Ancak operasyon sürelerinin stokastik olarak alınabilmesi için uygun dağılımı belirleyebilmek amacıyla geçmişe ait yeterli verinin olması gerekmektedir. Bu çalışmadaki montaj hattı, fabrikada yeni kurulan bir hat olduğu için geçmişe dönük gerekli veri bulunmamaktadır. Bu nedenle, net olarak belirleyemediğimiz operasyon sürelerini bulanık olarak alarak etkin bir montaj hattı yerleşimine ulaşmak hedeflenmiştir.

Bu çalışmada bulanık operasyon zamanlı tek modelli Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi için bir çözüm algoritması önerilmiştir. Algoritma, Java programlama dili ile kodlanmış ve bir uygulama üzerinde test edilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE SURVEY)

Montaj hatları ile ilgili günümüze kadar bir çok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde bu geniş literatür içerisinde özellikle tek modelli GMHDP'lerdeki en bilinen çalışmalar ve sınırlı sayıdaki bulanık montaj hattı dengeleme çalışmaları üzerinde kısaca durulacaktır.

GMHDP'lerdeki yaklaşım tarzları iki kısımda yoğunlaşmaktadır. Bunlardan birincisi en iyi çözümü bulan yöntemler, ikincisi ise sezgisel yöntemlerdir.

GMHDP'lerde en iyi çözüme dayalı yöntemlerin büyük bir çoğunluğunda dal ve sınır algoritmaları kullanılmıştır. Tahngavelu ve Shetty [1], Patterson ve Albracht [2], Talbot ve Patterson [3] tamsayı programlamaya dayalı dal ve sınır algoritmaları geliştirmişlerdir. Dal ve sınır algoritmalarına dayalı yapılan diğer çalışmalar ise; Jackson [4], Van Assche ve Herroelen [5], Wee ve Magazin [6] tarafından yapılmıştır. Geliştirilen dal sınır algoritmalarının en bilinenleri ise; Johnson'ın [7] FABLE, Hoffmann'ın [8] EURAKA, Scholl ve Klein'in [9] SALOME isimli algoritmalarıdır. Klein [10] ve Gökçen ve Erel [11] GMHDP üzerine en kısa yol metodunu uygulamışlardır. Bunların dışında GMHDP'de en iyi çözümü bulan dinamik programlamanın kullanıldığı çeşitli çalışmalar; Held ve arkadaşları [12], Schrage ve Baker [13] tarafından yapılmıştır.

GMHDP'de, problem boyutu büyüdükçe en iyi çözümü bulan yöntemlerin yerini sezgisel yöntemler

almaya başlamış ve araştırmalar bu yöne kaymıştır. Sezgisel yöntemlerde ise iki tür yaklaşım söz konusudur. İlk yaklaşımda çözüme ulaşmak için bir kurallar dizisi belirlenir ve bu kurallar dizisine göre problem çözülür ve atamalar yapılır. İkinci yaklaşımda ise; bir başlangıç çözümü alınır ve belirlenen sezgisel kurallar ile daha iyi başka bir çözüm elde edilmeye çalışılır. En son bulunan çözümden daha iyi bir çözüm elde edilemiyorsa, en son bulunan iyi çözüm, en iyi çözüm olarak kabul edilir. İlk yaklaşımla ilgili literatürde; Tonge [14], Kilbridge ve Wester [15], Helgeson ve Birnie [16], Moodie Young [17], Arcus [18] COMSOAL yöntemi ve Dar-El [19] MALB yöntemi üzerine çalışma yapmışlardır. Çözüm iyileştirici ikinci yaklaşımda ise çözüm metodu olarak kullanılan yöntemler genetik algoritmalar, tabu arama ve tavlama benzetimidir. Anderson ve Ferris [20], Leu ve arkadaşları [21], Kim ve arkadaşları [22], Suresh ve Sahu [23], Sabuncuoğlu ve arkadaşları [24], Ponnambalam ve arkadaşları [25] genetik algoritmaya dayalı çalışmışlardır. Scholl ve Vob [26], Chiang [27] tarafından tabu arama yöntemi, Suresh ve Sahu [28] tarafından ise tavlama benzetimi yöntemi kullanılmıştır.

Bilindiği gibi insan unsuru operasyon sürelerinin değişken olmasına yol açmaktadır. Söz konusu değişkenliğin sebepleri arasında yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikteki işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler, araç-gereç bozulmaları vardır. Bu durum, istasyonlara atanan işlerin aldıkları toplam sürenin istasyona verilen süreyi (çevrim zamanı) aşmasına ve dolayısıyla bazı işlerin bitirilememesine sebep olabilmektedir. Özellikle işler arasındaki öncelik ilişkileri gözönüne alındığında, bazı işlere hiç başlanamamaktadır. Tamamlanamayan bu işler ise sisteme bir maliyet yüklemektedir.

Son yıllarda; çevresel, makina ve insana bağlı değişkenlikleri ve uzman deneyimini göz önünde bulunduran; ayrıca deterministik, stokastik ve dinamik işlem zamanlarının belirlenmesinde karşılaşılan olumsuz yönleri elimine edecek BM kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram ile operasyon süreleri bulanık işlem zamanları olarak belirlenebilmektedir. Ayrıca deterministik işlem zamanlarındaki; gerçeği tam olarak yansıtmayan, sabit bir sürenin operasyon zamanını temsil etmesi ve stokastik işlem zamanlarının hesaplanmasındaki; yeterli sayıda düzgün verinin elde edilemediği durumlar (yeni bir montaj hattı), dağılım fonksiyonlarının tam olarak sistemi yansıtmaması durumu, ve yüksek maliyet gibi olumsuz etkiler bu kavramla ortadan kaldırılabilir. Aynı zamanda bulanık küme teorisi, işlem ve çevrim zamanlarının atanmasındaki belirsizliğin dikkate alınmasına izin vermektedir.

BM yaklaşımını MHDP'de kullanan çalışmaların sayısı yok denecek kadar azdır. Bu alanda literatürde karşımıza çıkan ilk çalışma 1995 yılında Tsujimura, Gen ve Kubota [29] tarafından yapılmıştır. Çalışmada

operasyon zamanları ve çevrim zamanı bulanık olarak düşünülmüş ve üçgensel bulanık operasyon zamanlarının kullanıldığı bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Bundan bir yıl sonra Gen, Tsujimura ve Li [30] tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise genetik algoritmanın bulanık MHDP'lerde kullanımı detaylandırılmış ve örneklerle desteklenmiştir. Ağpak ve Gökçen [31] ilk defa basit U tipi MHDP için bulanık mantığı kullanmışlardır. Yapılan çalışmada; çevrim zamanı, istasyon sayısı ve istasyon iş yükü bulanık olarak düşünülerek bir tamsayı programlama geliştirilmiştir. Burada, tahmini zor olan bu parametrelerin belirsiz olabileceği düşünülmüş ve karar vericiye bir çözüm sunmak amaçlanmıştır. Chutima ve Yiangkamolsing [32] tarafından yapılan çalışmada bulanık işlem zamanlı karışık montaj hattı modeli için bulanık genetik algoritma hedeflenmiştir. Khoshalhan ve Zegordi [33] bulanık montaj hattı dengeleme probleminin her iki tipi için bir genetik algoritma önermişlerdir. Foncesa ve arkadaşları [34], stokastik montaj hattı dengeleme probleminin modellenmesi ve çözülmesi için uygulanabilir alternatif bir yöntem olarak bulanık küme teorisini kullanmışlardır. Bu çalışmada görüldüğü gibi geçmişe ait yeterli veri bulunmadığı durumlarda stokastiklik yerine bulanık küme teorisi kullanılabilir. Hop [35] tarafından bulanık işlem zamanlı hat dengeleme problemi için bulanık ikili doğrusal programlama modeli amaçlanmıştır.

### 3. GELENEKSEL MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİNE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI (FUZZY LOGIC APPROACH TO TRADITIONAL ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM)

GMHDP'ler için günümüze kadar birçok yaklaşım ve çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Montaj hattı dengelemek amacıyla tasarlanacak sistemlerdeki parametrelerin sabit değerli olamaması, diğer çevresel, insan ve makine gibi modele büyük etkisi olabilecek parametrelerin göz ardı edilmesi gibi problemlerden dolayı bazı deterministik çözüm yöntemleri GMHDP'ler için yeterli etkiyi gösterememektedir. Bu nedenle kontrol altına alınamayan parametrelerin etkisini azaltabilmek için sezgisel yöntemlere başvurulmuş, dolayısıyla sistemler daha iyi modellenmeye başlanmıştır. Ayrıca deterministik yöntemlerdeki; veri toplama, veri hesaplama, model kurma ve modeli test etme çalışmaları oldukça uzun zaman ve maliyet getirmektedir. Bu yöntemde uzman görüşünden gerektiği gibi yararlanılmayıp, matematiksel ve istatistiksel yöntemler ön plana çıkarılmaktadır. Fakat; sistemi modellerken alınacak verilerin uzman görüşünden de yararlanılarak alınması, model dışında yer alan parametrelerin etkisini daha da azaltmakta büyük fayda sağlayacaktır. Bunun yanında; deneyimle gelen bilgi birikimi ile, ilgili girdi verilerinin belirlenmesinde uzman görüşünün, büyük zaman ve maliyet kazancı sağlayacağı açıktır. Ayrıca matematiksel olarak kesin bir şekilde belirlenemeyen parametre değerlerinin, uzman görüşünden yararlanıp,

bulanık olarak belirlenmesi şartıyla; karar vericiye, dengelenmiş montaj hattı alternatifleri üretilebilecektir. Dolayısıyla uzman, sistem dışı parametreleri de düşünerek hangi montaj hattı yerleşimini uygulaması gerektiğine karar verebilecektir.

GMHDP – 1 tipi problemlerde, tüm veriler deterministiktir. Özellikle gerçek uygulamalara bakıldığında tüm verilerin kesin bir şekilde belirlenmesi mümkün değildir. Mutlaka matematiksel olarak belirleyemediğimiz veya belirlense bile model içerisine aldığımızda çözüme ulaşamadığımız durumlarla karşılaşabilmektedir. Dolayısıyla problemin model yapısını basit tutup, matematiksel olarak kesinliğine karar veremediğimiz parametrelerin değerlerini bulanık olarak belirleyerek, daha uygulanabilir çözüm alternatifleri geliştirilebilir.

GMHDP- 1 tipi problemler de, çevrim zamanı ilgili ürün talep değerine göre deterministik olarak belirlenebilir. Buna karşın operasyon zamanları; özellikle emek yoğun olarak çalışılan sektörlerde değişkenlik gösterebilmektedir. Çünkü insan ve çevreye bağlı nedenlerden dolayı kesin bir operasyon zamanı belirlemek mümkün olamayabilir veya standart zamanların hesaplanması için oldukça fazla deneme yaparak istatistik ve olasılık yardımıyla standart zamanları hesaplamak gerekebilmektedir. Ancak değişen üretim teknolojilerine ve rekabet şartlarına anında yanıt verebilmek için daha esnek ve daha kısa zamanda çözüm üretebilecek çalışmaların yapılması zorunlu hale gelmektedir. Daha önce bahsedildiği gibi GMHDP – 1 tipi problemler genellikle yeni bir hat tasarlamak amacıyla kullanılır.

Bu çalışmada gerçek bir sistemde yeni kurulan bir montaj hattının dengelenmesinin yanı sıra yukarıdaki sıralanan nedenlerden dolayı; operasyon zamanları, uzman görüşü ile bulanık olarak, çevrim zamanı da sabit olarak belirlenerek karar vericiye montaj hattı yerleşimi için alternatifler sunulacaktır.

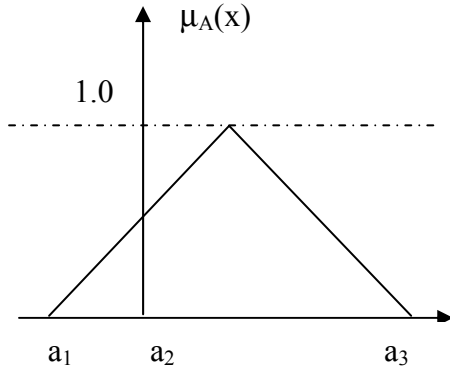
#### 3.1 Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Modeli (Traditional Assembly Line Balancing Model with Fuzzy Operation Times)

Montaj hattı problemlerinde kesin olarak belirlenemeyen veya geçmişe ait yeterli sayıda veri bulunamayan parametreler için bulanık mantık yaklaşımını kullanmak oldukça yararlı olabilmektedir. Bu çalışmada operasyon zamanları dışındaki parametrelerin deterministik olduğu, operasyon zamanlarının ise bulanık olarak tespit edildiği bir model önerilecektir.

İlgilenilen bulanık sayılar kesikli özellik gösteriyorsa tek tek üyelik derecelerine göre küme şeklinde gösterilebilirler. Ancak her zaman bulanık sayıların kümesi bu kadar dar olmayabilir. Bu durumda bulanık sayılar fonksiyonlar ile ifade edilebilir. Oldukça değişik bulanık sayı biçimleri bulunur. Bunlar arasında kullanımı en yaygın olan bulanık sayı biçimleri, üçgensel ve yamuksal bulanık sayılardır.

Üçgensel bulanık sayılar, özellikle sistem modellemede çok sık kullanılmaktadır. Üçgensel bulanık sayılar, üç elemandan ( $a_1, a_2, a_3$ ) oluşan şekilde gösterilebilir. Şekil 1'de gösterilen üçgensel bulanık sayı için üyelik fonksiyonu (1) nolu eşitlikde görüldüğü gibi tanımlanabilir [36];

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \text{ ise} \\ (x-a_1)/(a_2-a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise} \\ (a_3-x)/(a_3-a_2) & a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise} \\ 0 & x > a_3 \text{ ise} \end{cases} \quad (1)$$



**Şekil 1.**  $A=(a_1, a_2, a_3)$  Üçgensel bulanık sayısı ( $A=(a_1, a_2, a_3)$  Triangular fuzzy number)

Bir üçgen bulanık sayı  $\alpha$  kesmeleri ile ifade edilebilir.  $\alpha$  seviyesinde güven aralığı tanımı, üçgensel bulanık sayı olarak (2) nolu eşitlikde verilmiştir [36];

$$A_\alpha = [a_1(\alpha), a_3(\alpha)] = [(a_2-a_1)\alpha + a_1, -(a_3-a_2)\alpha + a_3] \quad (2)$$

Bu çalışmada da  $\alpha$  kesmeleri yöntemiyle bulanık sayılardan kesin kümelere geçiş yapılarak ilgili modelleme ve aritmetik işlemler gerçekleştirilmiştir.

GMHDP – 1 için literatürde Salveson [37], Bowman [38], White [39], Thangavelu ve Shetty [1], Patterson ve Albracht [2] tarafından geliştirilen modeller bulunmaktadır. Patterson ve Albracht [2] tarafından kurulan deterministik model için sadece operasyon zamanlarını gösteren  $t_i$  değişkeni bulanık olarak ifade edilerek bununla ilgili kısıt değiştirilmiştir. Yeniden düzenlenen model, amaç fonksiyonu ve kısıtları itibariyle aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min}Z = \sum_{j \in SI_n} j \cdot x_{nj} \quad (3)$$

$$\sum_{j \in SI_i} x_{ij} = 1 \quad i=1, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j \in B_j} \tilde{t}_i \cdot x_{ij} \leq c \quad j=1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{j \in SI_k} j \cdot x_{kj} \leq \sum_{j \in SI_i} j \cdot x_{ij} \quad (k,i) \in A \text{ ve } L_k \geq E \quad (6)$$

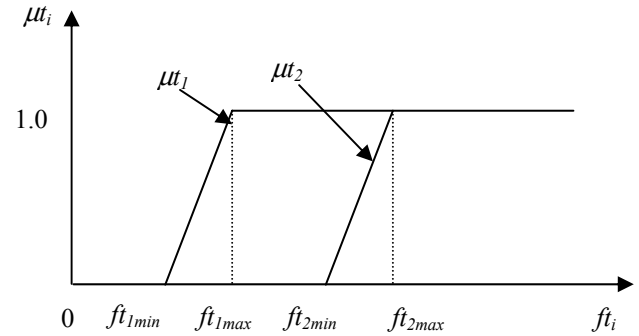
$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i=1, \dots, n \text{ ve } j \in SI_i \quad (7)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ görevi, } j \text{ istasyonuna atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumda } i = 1, \dots, n \text{ ve } j \in SI \end{cases} \quad (8)$$

İstasyon sayısını minimum yapacak amaç fonksiyonuna (3) sahip bu modelde (4) nolu eşitlik atama kısıtını göstermektedir. Bu kısıt, her bir görevin yalnız tek bir istasyona atanmasını sağlar. Kısıt (5) ile istasyon zamanının çevrim zamanını aşmaması garanti altına alınır. Öncülük kısıtı olan (6) nolu eşitsizlik ile; bir görevin, öncülünden önce atanması engellenir.

(5) nolu eşitsizlikde görülen  $t_i$  i operasyonuna ait bulanık operasyon zamanını temsil etmektedir. Bulanık operasyon zamanını temsil etmek amacıyla her bir operasyona ait bir üyelik fonksiyonu kullanılabilir veya ilgili değerler kesikli olarak verilebilir.

Şekil 2'de bulanık operasyon zamanlarını temsil etmek amacıyla iki tane bulanık operasyon zamanına ait üyelik fonksiyonları grafik ile gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Operasyon zamanı üyelik fonksiyonu (Membership function of operation times)

Şekil 1'de,  $ft_{1max}$  1. operasyonu tamamlamak için gerekli olan en iyimser zamanı,  $ft_{1min}$  ise 1. operasyonu tamamlamak için gerekli olan en kötümser zamanı belirtmektedir.

Bu üyelik fonksiyonları matematiksel olarak (9) ve (10) nolu eşitliklerde görüldüğü gibi ifade edilir.

$$\mu_{t_1}(ft_1) = \begin{cases} 0 & , ft_1 \leq ft_{1min} \\ \frac{ft_1 - ft_{1min}}{ft_{1max} - ft_{1min}} & , ft_{1min} < ft_1 < ft_{1max} \\ 1 & , ft_1 \geq ft_{1max} \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{t_2}(ft_2) = \begin{cases} 0 & , ft_2 \leq ft_{2min} \\ \frac{ft_2 - ft_{2min}}{ft_{2max} - ft_{2min}} & , ft_{2min} < ft_2 < ft_{2max} \\ 1 & , ft_2 \geq ft_{2max} \end{cases} \quad (10)$$

Bu çalışmada bulanık sayılardan kesin sayılara geçiş ve en etkin atamayı hesaplamak için kullanılacak yöntem  $\alpha$  kesmeleridir. Bulanık sayılar üzerinden  $\alpha$  kesmeleri yöntemi kullanılarak kesin kümelere geçiş

yapılabilir ve bu sayede modelleme ve aritmetik işlemlerde büyük kolaylık sağlanır.  $t_1$  ve  $t_2$  bulanık operasyon zamanlarına ait  $\alpha$  kesmeleri (11) ve (12) nolu eşitliklerde görüldüğü gibi ifade edilir.

$$t_{1\alpha} = (ft_{1max} - ft_{1min}) \alpha + ft_{1min} \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (11)$$

$$t_{2\alpha} = (ft_{2max} - ft_{2min}) \alpha + ft_{2min} \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (12)$$

Yukarıdaki eşitliklerde verilen  $\alpha$ , üyelik fonksiyonunun alması gereken en az değeri gösteren bir üyelik derecesidir.  $\alpha$  kesmeleri başka bir ifade ile bulanık sayıların güven aralığı şeklinde gösterilmesidir.  $\alpha$  kesmeleri ile tanımlanan fonksiyonlar, model içerisinde kullanılarak, diğer kısıtların da sağlandığı uygun çözüm alternatifleri oluşturulabilecektir.

### 3.2 Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Modeli Çözüm Algoritması (A Solution Algorithm of Traditional Assembly Line Balancing Model with Fuzzy Operation Times)

Üretim sistemlerinin dinamik olmasından dolayı, anlık değişimlere hızlı yanıt verebilmek oldukça önemlidir. Bu nedenle, zaman kısıtı ve maliyet kısıtı olan bu sistemlerde hızlı ve maliyeti düşük çözümler üretmek oldukça önemlidir. Örneğin tek ürünün üretildiği düz bir montaj hattı düşünürsek, bu hatta üretilen ürünle ilgili müşteri talepleri ve teknik nedenlerden dolayı sürekli olarak değişiklikler yapılması doğal bir durumdur. Dolayısıyla dengede olan bir montaj hattı bu değişimlerden etkilenerek ve dengesini kaybedecektir. Değişen montajlar ile ilgili standart zamanın tespit edilememesinden dolayı; yeni operasyon, değişen operasyonun yerine atanacak, üretim esnasında ilgili operasyon gözlemlenerek ilgili standart zamanlar tespit edilecek ve hat dengeleme çalışması yeniden üretime başladıktan sonra yapılabilecektir. Bu durumun sürekli olarak tekrar ettiği düşünülürse, bu değişiklikleri yapabilmek, oldukça fazla zaman alacak, sağlıklı veri alabilmek için ilgili operasyonun uzun süre gözlemlenmesi gerekecek ve gelen değişikliklere zamanında cevap verilemeyecektir. Bu da darboğazlara veya boş zamanların fazla olmasına neden olarak işletmenin fazladan maliyet yüklenmesi sonucunu ortaya çıkaracaktır. Bu gibi durumlarda, operasyon zamanlarının uzman tarafından bulanık olarak belirlenmesi ve bu bulanık operasyon zamanlarına göre hat dengeleme alternatiflerinin oluşturulması, uzmana daha hızlı karar verme şansı tanıyacaktır. Çünkü incelenen sistem de, yeterli miktarda veri bulunmadığından bulanıklık daha etkili sonuçlar verecektir. Ayrıca bu çalışma, konuyla ilgili çalışma yapacak olan araştırmacılara da yol gösterebilecektir.

Bu çalışmada önerilen bulanık operasyon zamanlı modelin çözümünde aşağıdaki adımlar uzman kişi tarafından gerçekleştirilir.

1. Operasyonların sayısı ( $n$ ) belirlenir. ( $i=1, \dots, n$ )

2. Operasyonlara ait öncüllük ilişkileri öncelik diyagramı ile gösterilir.
3. Çevrim zamanı ( $c$ ) belirlenir.
4. Herbir operasyonun en erken ( $ft_{min}$ ) ve en geç ( $ft_{max}$ ) tamamlanma zamanı belirlenir.
5. Operasyonlar için üyelik fonksiyonları  $\mu_i (ft_i)$  tanımlanır.
6. Üyelik fonksiyonlarına ait  $\alpha$  kesmeleri ( $t_{i\alpha}$ ) belirlenir.
7. Öncüllük ilişkileri, çevrim zamanı ( $c$ ) ve  $\alpha$  kesme fonksiyonları ( $t_{i\alpha}$ ), ilgili bilgisayar programına girilir.
8. Program tarafından üretilen alternatifler, hattın etkinliği ( $E$ ),  $\alpha_{ort}$  ve Var  $\alpha$ 'a göre değerlendirilir.

Uzmanın belirlemiş olduğu verilerin, ilgili bilgisayar programı tarafından işlenmesi ise aşağıdaki algoritma ile gerçekleştirilir.

Adım 1:  $t_{i\alpha} \leq c$  olduğunda  $\alpha \geq 0$  olduğunu doğrula. Değilse hata bildir.

Adım 2: İlk sırada yapılan operasyonun atanabilirlik derecesine (operasyonun hangi sırada yapılacağını tanımlayan değer) 1 ata. İkinci sırada yapılacak operasyonların atanabilirlik derecesini 1 arttır. Tüm operasyonlar bitene kadar tekrar et.

Adım 3: Atanabilirlik derecesi 1 olan operasyon için dizilim alternatifini oluştur. Tüm dereceler bitene kadar her biri için operasyon dizilimlerini sırala.

Adım 4: Adım 3'de her bir atanabilirlik derecesine ait sıralamayı diğer atanabilirlik derecelerindeki sıralamalarla mümkün tüm kombinasyonları sağlayacak şekilde birleştir.

Adım 5: Minimum istasyon sayısını 0 olarak belirle.

Adım 6: Minimum istasyon sayısını bir arttır. Operasyon sıralamalarının her bir elemanını ikilik sistemde (0-1) olarak ; minimum istasyon sayısından bir eksik kadar 1 olacak şekilde işaretle.

Adım 7: Minimum istasyon sayısına ait sıralamaları ikilik sistemdeki işaretlemelere göre istasyonlara ayır. İstasyonlara göre, aynı olan alternatifleri çıkararak benzersiz alternatifleri belirle.

Adım 8: Herbir alternatif için istasyondaki  $\alpha$  kesme fonksiyonlarını ( $t_{i\alpha}$ ) toplayıp çevrim zamanına ( $c$ ) eşitle ve  $1 \geq \alpha \geq 0$  olduğunu kontrol et.

Adım 9: Tüm istasyonlarda sağlanmak üzere; eğer istasyon için  $1 \geq \alpha \geq 0$  veya  $\alpha > 1$  ise ilgili istasyon sayısı için mümkün çözüm elde et.  $\alpha > 1$  için  $\alpha$ 'nın maksimum değerini al  $\alpha = 1$  yap. Eğer herhangi bir istasyonda  $\alpha < 0$  ise ilgili istasyon için mümkün çözüm yoktur, 6. adıma geri dön.

**Adım 10:** Mümkün operasyon atamalarının gerçekleştirilebildiği, minimum istasyona sahip dizilimler için, istasyon  $\alpha$  değerlerini yaz, hattın etkinliğini (E), ortalama  $\alpha$  ( $\alpha_{ort}$ ) değerlerini,  $\alpha$  değerlerine ait varyansı (Var  $\alpha$ ) hesapla ve yaz. Maksimum etkinliğe sahip alternatifi işaretle.

#### 4. UYGULAMA (APPLICATION)

Bulanık operasyon zamanlı geleneksel montaj hattı dengeleme modelinin etkinliğini göstermek için gerçek bir sistem ele alınmıştır. Fabrika, günde 8 saat olmak üzere haftanın 6 günü faaliyet göstermektedir. Uygulamada yeni bir araç modeline ait gösterge panosu tesisatının üretilmesine ilişkin uygulama anlatılacaktır. Gösterge panosu tesisatının üretimi için yapılması gereken operasyon adımları Tablo 1’de gösterilmektedir.

İlgili gösterge panosu tesisatı tek bir hat üzerinde üretilmekte olup talep 8 adet/gün’dür. İşletme 8 saat çalışmakta olup, gün içerisinde 30 dk yemek arası ve 10 dk’lık iki çay molası verilmektedir. Gün içerisinde kullanılan toplam verimli zaman;  $(8*60dk) - (30dk+10dk+10dk) = 430dk/gün$ ’dür. Günde hedeflenen üretim sayısı 8 birim olduğundan, bir birim için çevrim zamanı;

$$(C) = 430/8 \approx 53 \text{ dk olarak hesaplanır.}$$

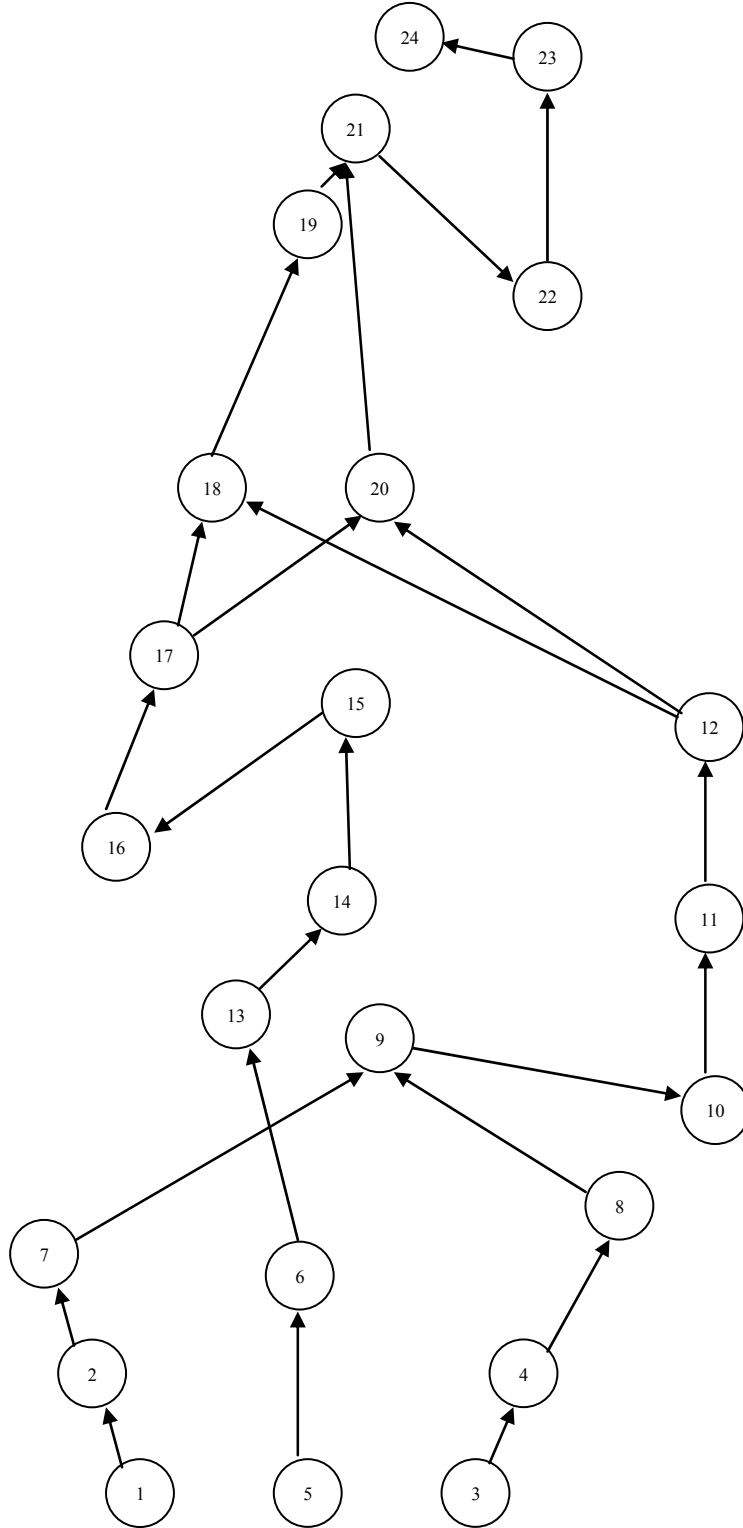
İkinci aşamada operasyonlar için oluşturulan öncelik diyagramı Şekil 3’de görülmektedir.

Operasyon zamanlarının bulanık olarak belirleneceği GMHDP için gerekli bilgiler; operasyonlar ile ilgili yeterli deneyime sahip olan bir uzman tarafından verilir. Belirlenen bu veriler bir önceki bölümde algoritması anlatılan ve Java programlama dili ile kodlanan programa verilerek en iyi atama alternatifleri elde edilir.

Belirlenen en erken bitiş ve en geç bitiş sürelerine göre üyelik fonksiyonlarının doğrusal olarak artış göstereceği düşünülür ve ilgili üyelik fonksiyonlarına ait  $\alpha$  kesme fonksiyonları hesaplanır. Çevrim zamanı, üyelik fonksiyonlarına ait  $\alpha$  kesme fonksiyonları katsayıları, operasyonlara ait öncüllük ilişkileri ilgili txt dosyalarına girilir. Öncül operasyon önce, ardıl operasyon ise araya bir boşluk bırakılarak sonra yazılarak öncelik diyagramında belirtilen tüm ilişkiler txt dosyasında tanımlanır. Programın çalıştırılmasıyla elde edilen arayüzde Tablo 2’de görülen görevlere ait bulanık işlem fonksiyonları ve görevlerin ardılları görülmektedir.

**Tablo 1.** Operasyon tanımları ve bulanık sınır süreleri (Operation definitions and fuzzy limit times)

Ope. No (i)	Operasyon Tanımı	Ope. En Erken Bitiş Süresi ( $f_{t_{min}}$ )(dk)	Ope. En Geç Bitiş Süresi ( $f_{t_{max}}$ )(dk)
1	Otomatik Kablo Kesim, Çift Taraf Uçlama, Numaralama (Set 1)	3,25	3,75
2	Bantlama - Barkotlama (Set 1)	7,25	8,25
3	Otomatik Kablo Kesim, Seri Uçlama, Numaralama (Set 2)	34,5	36,5
4	Bantlama - Barkotlama (Set 2)	17,25	21
5	Yarı Otomatik Kablo Kesim, Tek Taraf Uçlama, Numaralama (Set 3)	6	7,5
6	Bantlama - Barkotlama (Set 3)	9	11
7	Set 1 Hat Dizimi İçin Açma	1,25	1,75
8	Set 2 Hat Dizimi İçin Açma	4	4,75
9	Spiral Ölçüm -Kesim	0,25	0,5
10	Spiral Kaplama	0,5	0,75
11	Hat 1 Bantlama-Barkod	1	1,25
12	Hat 1 Soketleme	0,25	0,5
13	Set 3 Hat Dizimi İçin Açma	2	3
14	Spiral Ölçüm -Kesim	0,25	0,5
15	Spiral Kaplama	0,5	0,75
16	Hat 2 Bantlama-Barkod	1	1,25
17	Hat 2 Soketleme	0,5	0,75
18	Hat 1 - Hat 2 Temini ve Seçimi	3,5	4,5
19	Hat 1 - Hat 2 'nin Kontrol Panosu Üzerine Yerleştirilmesi	42	49
20	İlave Soketlerin Pano Üzerine Yerleştirilmesi	2	2,5
21	Tesisat Devre Kontrolü ve Onay Alınması	0,25	0,5
22	Klips İle Bağlama	11,75	14,25
23	Klips Kesme	1,5	2
24	Tesisat Paketleme	0,75	1,5



Şekil 3. Öncelik diyagramı (Priority diagram)

Java ile kodlanan program, daha önceki bölümde açıklanan algoritmayı kullanarak minimum istasyona atanan görevlerin atama alternatifleri arasında, hat etkinliği ( $E$ ) en yüksek olan alternatifi belirlemektedir. Bunun yanında uzman kişiye bilgi sunmak amacıyla üretilen tüm alternatifler fuzzy.htm dosyasının arayüz

görüntüsünde verilmekte ayrıca istasyonlar arasındaki  $\alpha_{ort}$  değerinin en yüksek olduğu ve Var  $\alpha$ 'nın en küçük olduğu alternatiflerde gösterilmektedir.

**Tablo 2.**  $\alpha$  kesme fonksiyonları ve görevlerin ardılları ( $\alpha$  cutting functions and successors of tasks)

#	Görev	Bulanık İşlem Fonksiyonu	Ardıllar
1	G1	$0,5\alpha+3,25$	G2
2	G2	$1,0\alpha+7,25$	G7
3	G3	$2,0\alpha+34,5$	G4
4	G4	$3,75\alpha+17,25$	G8
5	G5	$1,5\alpha+6,0$	G6
6	G6	$2,0\alpha+9,0$	G13
7	G7	$0,5\alpha+1,25$	G9
8	G8	$0,75\alpha+4,0$	G9
9	G9	$0,25\alpha+0,25$	G10
10	G10	$0,25\alpha+0,5$	G11
11	G11	$0,25\alpha+1,0$	G12
12	G12	$0,25\alpha+0,25$	G18 G20
13	G13	$1,0\alpha+2,0$	G14
14	G14	$0,25\alpha+0,25$	G15
15	G15	$0,25\alpha+0,5$	G16
16	G16	$0,25\alpha+1,0$	G17
17	G17	$0,25\alpha+0,5$	G18 G20
18	G18	$1,0\alpha+3,5$	G19
19	G19	$7,0\alpha+42,0$	G21
20	G20	$0,5\alpha+2,0$	G21
21	G21	$0,25\alpha+0,25$	G22
22	G22	$2,5\alpha+11,75$	G23
23	G23	$0,5\alpha+1,5$	G24
24	G24	$0,75\alpha+0,75$	

Burada  $i$  operasyonları için  $\mu_i$  değerlerinin sıfır olması demek, ilgili çevrim zamanı içerisinde operasyonların tamamlanmasının çok güç olacağı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla üretilmesi gereken ilgili ürün sayısına zor ulaşılabilecektir. Tam tersini düşünürsek;  $t_{max}$  sürelerine göre hat dengelenirse, ilgili çevrim zamanında operasyonlar rahatlıkla tamamlanabilecek ve ilgili ürün sayısına rahatlıkla ulaşılabilecektir. Amaç, minimum istasyon sayısına sahip dizilimler arasında hat etkinliği en yüksek olan atamayı bulmak olacaktır. Dolayısıyla hat etkinliğinin yüksek olması demek üyelik derecelerinin de yüksek olması anlamına gelmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, her bir istasyon için farklı üyelik derecesi oluşmasıdır. Bu nedenle; karar vericiye ilgili atamanın homojen dağılımı ile ilgili bilgi vermek

amacıyla, istasyonlardaki üyelik derecelerinin ortalaması ve istasyonlardaki üyelik derecelerinin varyansı da hesaplanmaktadır.

Program tarafından yapılan atama sonucunda minimum istasyon sayısı 4 olarak bulunmuş ve bu istasyon sayısına ait 178 tane alternatif çıkartılmıştır. Bu alternatifler arasında 121 ve 122. sıradaki alternatifler için hat etkinliği en yüksek değerini almıştır. Hat etkinliği en yüksek olan bu iki atamaya ilişkin, operasyonların istasyonlara dağılımı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3'ü incelersek 2.,3. ve 4. istasyonlar için  $\alpha$ , en yüksek değerini alabilmekte ve üretilen bulanık süreye göre ilgili operasyonlar rahatlıkla yapılabilmektedir. 1. istasyonda ise  $\alpha$ ; 0,4 değerini almakta dolayısıyla üretilen bulanık zaman uzman tarafından verilen bulanık süre aralığının alt limitine yaklaşmaktadır. Bu atamalar için hat etkinliği  $E = 0,83$  olarak bulunmuştur. Bu değere bakarak; 2.,3. ve 4. istasyonlarda  $\alpha$  en yüksek değerini almasına rağmen, bu istasyonlarda operasyon dışı boş zaman olduğu sonucuna varılabilir.

Mümkün tek bir atama olduğunda, bu atama aynı zamanda en iyi atamadır. Burada olduğu gibi birden fazla alternatif bulunduğu anda ise; en uygun atamayı bulmak için hat etkinliğine, hat için ortalama  $\alpha$  değerine ve istasyonlardaki  $\alpha$  değerleri için varyansa bakılarak karar verilir. Tablo 3'deki 121 ve 122 nolu alternatifler için hattın etkinliği ( $E$ ),  $\alpha_{ort}$  ve Var  $\alpha$  değerleri aynıdır. Bu nedenle çıkan iki alternatifde farksızdır denebilir. Ancak  $\alpha$  değerlerine ait varyans ve ortalama, karar vericiye etkinliği aynı olan alternatifler arasında karşılaştırma yapma imkanı sağlar.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bulanık Mantık kavramının yaygınlaşması ve üretimde daha fazla parametrenin kontrol edilmesi gerektiği durumlarda, bulanık verilerin modelleme çalışmalarında kullanımı artacak ve daha etkin modelleme yaklaşımları geliştirilebilecektir. GMHDP'lerinde BM yaklaşımını kullanmak, zaman ve maliyet açısından oldukça fazla fayda sağlayacaktır. Gelişmiş ve deneyime sahip beyin güçlerini kullanmak, deği-

**Tablo 3.** Minimum istasyonlu hat etkinliği en yüksek atama sonuçları (Maximum line efficiency assignment results with minimum stations)

#	İstasyon 1	$\alpha$	İstasyon 2	$\alpha$	İstasyon 3	$\alpha$	İstasyon 4	$\alpha$	Var $\alpha$	$\alpha_{ort}$	E
121	G5 G3 G1 G2	0,4	G6 G4 G13 G8 G7 G14 G9 G15 G10 G16 G11 G17 G12 G18	1	G20 G19	1	G21 G22 G23 G24	1	0,09	0,85	0,83
122	G5 G3 G1 G2	0,4	G6 G4 G13 G8 G7 G14 G9 G15 G10 G16 G11 G17 G12 G18	1	G20 G19 G21	1	G22 G23 G24	1	0,09	0,85	0,83



şimlere hızlı cevap vermek açısından oldukça büyük önem taşımaktadır.

Literatürde sadece operasyon zamanlarını bulanık olarak belirleyen bir montaj hattı dengeleme çalışması bulunmamaktadır. Doğrusal programlamayı kullanan ve sağ taraf değişkenlerinin bulanık olarak belirlendiği çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Bu boşluk hedef alınarak önerilen bulanık operasyon zamanlı geleneksel montaj hattı dengeleme modelinin çözümü için bir yöntem izlenmiştir. Bu yöntem ile ilgili algoritma Java programlama dili ile kodlanmış ve sonuçların daha hızlı alınması sağlanmıştır.

Çözümün etkinliği ve uygulanabilirliği gerçek bir sistemden seçilen yeni bir montaj hattı üzerinde test edilmiştir. Yapılan uygulamada yeterli sayıda geçmişe ait verilere ulaşamadığımız ve bu nedenle sürelere tam olarak karar veremediğimiz operasyonların bir hat üzerinde dengelenmesi sonucunda, minimum 4 istasyonda dengeleme yapılabilmüş ve 4 istasyona ait 178 tane alternatif üretilmiştir. Bu alternatiflerdeki farklı  $\alpha$  değerlerinden kaynaklanan hat etkinlikleri hesaplanmış ve 0,83 maksimum hat etkinliğine sahip iki alternatif seçilmiştir.

Bu makale ile karar vericiye daha hızlı ve sağlıklı kararlar alınmasında yol göstermesi hedeflenirken ileride yapılacak olan çalışmalara bir temel oluşturacağı düşünülmüştür. Araştırılacak ileriki çalışmalar arasında; operasyon sayılarının arttığı ve operasyonlar arasındaki ilişkilerin karmaşıklaştığı durumlarda, modellere ilave edilebilecek farklı sezgisel yöntemler yer almaktadır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Thangavelu, S. R. ve Shetty, C. M., "Assembly Line Balancing by Zero-One Integer Programming", **AIIE Transactions**, Cilt 3, No 1, 61-68, 1971.
2. Patterson, J. H. ve Albracht, J. J., "Assembly Line Balancing: Zero-One Programming with Fibonacci Search", **Operations Research**, Cilt 23, No 1, 166-172, 1975.
3. Talbot, F. B. ve Patterson, J. H., "An Integer Programming Algorithm with Network Cuts for Solving the Assembly Line Balancing Problem", **Management Science**, Cilt 30, No 1, 85-99, 1984.
4. Jackson, J. R., "A Computing Procedure for a Line Balancing Problem", **Management Science**, Cilt 2, No 3, 261-271, 1956.
5. Van Assche, F. ve Herroelen, W. S., "An Optimal Procedure for the Single Model Deterministic Assembly Line Balancing Problem", **European Journal of Operational Research**, Cilt 3, No 2, 142-149, 1979.
6. Wee, T. S. ve Magazine, M. J., "An Efficient Branch and Bound Algorithm for an Assembly Line Balancing Problem - Part II: Minimize The Number of Work Stations", **University of Waterloo**, Cilt 6, 151, 1981.
7. Johnson, R. V., "Optimally Balancing Large Assembly Lines with 'Fable'", **Management Science**, Cilt 34, No 1, 240-253, 1988.
8. Hoffmann, T. R., "EUREKA: A Hybrid System for Assembly Line Balancing", **Management Science**, Cilt 38, 39-47, 1992.
9. Scholl, A. ve Klein, R., "SALOME: A Bidirectional Branch and Bound Procedure for Assembly Line Balancing", **Journal on Computing**, Cilt 9, 319-334, 1997.
10. Klein, M., "On Assembly Line Balancing", **Operations Research**, Cilt 11, No 2, 55-62 1963.
11. Gökçen, H. ve Erel, E., "Shortest-Route Formulation of Mixed Model Assembly Line Balancing Problem", **European Journal of Operations Research**, Cilt 116, 194-204, 1999.
12. Held, M., Karp, R.M. ve Sharian, R., "Assembly Line Balancing Dynamic Programming with Precedence Constraints", **Operation Research**, Cilt 11, No 3, 442-459, 1963.
13. Schrage, L. ve Baker, K. R., "Dynamic Programming Solution of Sequencing Problems with Precedence Constraints", **Operations Research**, Cilt 26, 444-459, 1978.
14. Tonge, F. M., **A Heuristic Program for Assembly Line Balancing**, Prentice Hall Inc., New York, 15-24, 1961.
15. Kilbridge, M. D. ve Wester, L., "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing", **Journal of Industrial Engineering**, Cilt 12, No 4, 292-298, 1961.
16. Helgeson, W. B. ve Birnie, D. P., "Assembly Line Balancing Using Ranked Positional Weight Technique", **Journal of Industrial Engineering**, Cilt 12, No 6, 394-398, 1961.
17. Moodie, C. L. ve Young H. H., "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times", **Journal of Industrial Engineering**, Cilt 16, No 1, 23-29, 1965.
18. Arcus, A. L., "COMSOAL: A Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines", **International Journal of Production Research**, Cilt 4, No 4, 259-277, 1966.
19. Dar-El, E. M., "MALB-A Heuristic Technique for Balancing Large Single Model Assembly Lines", **AIIE Transactions**, Cilt 5, No 4, 343-356, 1973.
20. Anderson, E. J. ve Ferris, M. C., "Genetic Algorithms for Combinatorial Optimization: The Assembly Line Balancing Problem", **ORSA Journal of Computing**, Cilt 6, 161-173, 1994.
21. Leu, Y. Y., Matheson, L. A. ve Rees, L. P., "Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms with Heuristic-Generated Initial Populations and Multiple Evaluation Criteria", **Decision Sciences**, Cilt 25, No 4, 581-606, 1994.
22. Kim, Y. K., Kim, Y. H. ve Kim, Y. J., "Two-Sided Assembly Line Balancing: A Genetic Algorithm Approach", **Production Planning and Control**, Cilt 11, No 1, 44-53, 2000.

23. Suresh, G., Vinod, V. V. ve Sahu, S., "A Genetic Algorithm for Assembly Line Balancing", **Production Planning and Control**, Cilt 7, No 1, 38-46, 1996.
24. Sabuncuoğlu, I., Erel, E. ve Tanyer, M., "Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms", **Journal of Intelligent Manufacturing**, Cilt 11, No 3, 295-310, 2000.
25. Ponnambalam, S. G., Aravindan, P. ve Naidu, G. M., "Multi-Objective Genetic Algorithm for Solving ALB Problem", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Cilt 16, No 5, 341-352, 2000.
26. Scholl, A., Vob, "Simple Assembly Line Balancing – Heuristic Approaches", **Journal of Heuristic**, Cilt 2, 217-244, 1996.
27. Chiang, W. C., "The Application of a Tabu Search Metaheuristic to the Assembly Line Balancing Problem", **Annals of Operations Research**, Cilt 77, 209-227, 1998.
28. Suresh, G., Sahu, S., "Stochastic Assembly Line Balancing Using Simulated Annealing", **Int. J. Prod. Res.**, Cilt 32, No 8, 1801-1810, 1994.
29. Tsujimura, Y., Gen, M. ve Kubota, E., "Solving Fuzzy Assembly Line Balancing Problem with Genetic Algorithms", **Computers and Industrial Engineering**, Cilt 29, No 1-4, 543-547, 1995.
30. Gen, M., Tsujimura, Y. ve Li, Y. X., "Fuzzy Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms", **Computers and Industrial Engineering**, Cilt 31, No (3-4), 631-634, 1996.
31. Ağpak, K. ve Gökçen, H., "Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı", **D.E.Ü. Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi**, Cilt 4, No 2, 29-40, 2002.
32. Chutima, P. Yiangkamolsing, C., "Application of Fuzzy Genetic Algorithm for Sequencing in Mixed-Model Assembly Line with Processing Time", **International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice**, Cilt 10, No 4, 325-331, 2003.
33. Khoshalhan, F., Zegordi, S.H., "Solving Type One and Type Two Fuzzy Assembly Line Balancing Problems using Genetic Algorithms" **Journal of Science and Technology**, Cilt 14, No 55, 2003.
34. Fonseca, D.J., Guest, C.L., Elam, M. and Karr, C.L., "Fuzzy Logic Approach to Assembly Line Balancing", **Mathware & Soft Computing**, Cilt 12, 57-74, 2005.
35. Hop, N. V. "A Heuristic Solution for Fuzzy Mixed-Model Line Balancing Problem" **European Journal of Operational Research**, Cilt 168, 798–810, 2006.
36. Zimmermann, H. J., **Fuzzy Set Theory-and its Applications**, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA. 1987,
37. Salvesson, M. E., "The Assembly Line Balancing Problem", **Journal of Industrial Engineering**, Cilt 6, No 3, 18-25, 1955.
38. Bowman, E. H., "Assembly Line Balancing by Linear Programming", **Operations Research**, Cilt 8, No 3, 385-389, 1960.
39. White, W. W., "Comment on a Paper by Bowman", **Operations Research**, Cilt 9, No 2, 274-276, 1961.